



10/516522
Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

PCI/EP 03 / 0 5 6 2 9

Rec'd PTO 30 NOV 2004

REC'D 15 JUL 2003

WIPO POT

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02027873.5

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk

BEST AVAILABLE COPY



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

**Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation**

Anmeldung Nr.:
Application no.:
Demande n°: 02027873.5

Anmeldetag:
Date of filing: 13/12/02
Date de dépôt:

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
TELECOM ITALIA S.p.A.
20123 Milano
ITALY

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:
NO TITLE

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat: IT
State:
Pays:

Tag: 31/05/02
Date:
Date:

Aktenzeichen:
File no.
Numéro de dépôt:

ITA T020020462

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification internationale des brevets:

/

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:
Contracting states designated at date of filing:
Etats contractants désignés lors du dépôt:

AT/BG/BE/CH/CY/CZ/DE/DK/EE/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/

Bemerkungen:
Remarks:
Remarques:

The application was transferred from the original applicant TELECOM
ITALIA LAB S.p.A, Torino, Italy to the above-mentioned applicant on
29.04.03.
See for the original title of the application, page 1 of the description.

PROCEDIMENTO PER LA LOCALIZZAZIONE DI TERMINALI MOBILI,
RELATIVO SISTEMA E COMPONENTI

SETTORE DELLA TECNICA

La presente invenzione si riferisce alla localizzazione
5 geografica di terminali mobili nell'ambito di reti per
telecomunicazioni.

ARTE NOTA

Sono già note nella tecnica varie soluzioni in cui la
localizzazione dei terminali compresi in una rete radiomobile
10 viene effettuata sulla base dei segnali fisici e delle
informazioni disponibili nella rete, prescindendo
sostanzialmente dall'ausilio di apparati o sistemi esterni,
quali ad esempio sistemi di localizzazione satellitari.

Le varie soluzioni note, dirette a consentire la
15 localizzazione di terminali mobili sostanzialmente sulla
base dei segnali fisici e delle informazioni disponibili
nella rete, si differenziano fra loro per la combinazione di
due aspetti fondamentali: la tipologia dei dati forniti al
sistema di calcolo della posizione e la metodologia di
20 elaborazione applicata a tali dati.

Per quanto riguarda il primo punto, esistono almeno
quattro tipi di grandezze fisiche che possono essere misurate
dalla rete radiomobile e/o dal terminale mobile al fine di
ottenere informazioni utili alla localizzazione.

25 In primo luogo, è possibile misurare la potenza ricevuta
dal terminale mobile a partire da una certa stazione radio
base (indicata correntemente come BTS nel caso dei sistemi
GSM e similari). Questa soluzione consente di ricavare una
circonferenza - centrata sulla stazione base considerata -
30 sulla quale, in un punto incognito, giace il terminale
mobile. Combinando più misure di potenza ed intersecando
quindi le rispettive circonferenze si può identificare il
punto in cui giace il terminale mobile. Le misure di potenza

sono intrinsecamente poco precise, perché risentono di molti fattori incontrollabili tra i quali, principalmente, i guadagni delle antenne e l'evanescenza o fading, fenomeno propagativo delle onde elettromagnetiche che causa la
5 fluttuazione casuale ed imprevedibile del livello del segnale.

E' poi possibile effettuare una misura di Timing Advance (TA) ossia del "tempo di volo" di un segnale di riferimento quale un burst di controllo fra la stazione base ed il
10 terminale mobile (collegamento downlink) e, di ritorno, fra il terminale mobile e la stazione base (collegamento uplink). Il valore di TA indica quindi la distanza tra il terminale mobile ed una stazione base. Come per le misure di potenza, anche il TA identifica una circonferenza sulla quale si trova
15 il mobile da localizzare. Combinando più misure di TA (ed intersecando quindi le rispettive circonferenze) si può identificare il punto in cui giace il terminale mobile. Nel caso di reti GSM e GPRS, le misure di TA sono poco precise, vuoi per le modalità con cui vengono effettuate, vuoi per
20 l'errore di quantizzazione dovuto al numero finito di bit utilizzati per immagazzinare la misura nella stazione radio base: in pratica la misura di TA consente di individuare corone circolari con estensione radiale pari a circa 550 m.

Esistono poi le misure di Observed Time Differences (OTD), ottenute rilevando la differenza della distanza tra un
25 terminale mobile ed una stazione base e lo stesso terminale mobile ed un'altra stazione base. Le misure di OTD descrivono iperboli che, opportunamente combinate, consentono di localizzare il terminale mobile. Le misure di OTD forniscono
30 risultati intrinsecamente più precisi di quelli di cui ai due punti sopra perché si basano sulla misura della differenza dei "tempi di volo" di un campo elettromagnetico (a prova di ciò, si consideri che il sistema GPS, notoriamente conosciuto

come il più preciso sistema di localizzazione attualmente disponibile, si basa sullo stesso tipo di misura).

Esistono infine le misure di Time of Arrival (TOA), del tutto analoghe alle misure OTD con la differenza data dal fatto che la rilevazione è effettuata dalla rete e non dal terminale mobile.

Tanto le misure di OTD quanto le misure di TOA presentano l'inconveniente dato dal fatto di richiedere, per dare risultati precisi, una esatta sincronizzazione fra le stazioni base: condizione che, per essere realizzata, richiede la presenza, nell'ambito della rete, di apparati addizionali di sincronizzazione.

Le quattro tipologie di misura appena descritte vengono utilizzate per calcolare la posizione di un terminale mobile tanto operando in modo assoluto, ossia intersecando i luoghi geometrici descritti dalle misure effettuate, quanto confrontando le misure disponibili con mappe predisposte a priori.

Nella tecnica nota esistono diversi sistemi basati sia sul primo metodo (potenza) sia sul secondo metodo (TA) e che si differenziano inoltre per la tipologia di misure sulla quale si effettua la localizzazione.

Ad esempio, in US-A-5 613 205 la posizione di un terminale mobile viene stimata mediante l'intersezione dei luoghi geometrici ricavati dalla combinazione di misure di OTD e di potenza.

In WO-A-0018148 e US-A-6 167 274, al fine di localizzare un terminale mobile, le misure di potenza ricevuta dal mobile da un certo numero di stazioni base vengono confrontate con un database che contiene le "firme" di potenza di una certa area in funzione delle coordinate geografiche.

I sistemi di localizzazione al momento disponibili nella tecnica lasciano tuttavia irrisolti tre punti fondamentali.

In primo luogo, non si considera che gli scenari di localizzazione reali sono affetti da errori di misura di vario genere che hanno un impatto rilevante sulla precisione della localizzazione (soluzioni come quella descritta nel documento US-A-5 613 205 considerano in realtà solo alcuni degli errori più rilevanti). Fra i principali errori da considerare ci sono quelli di georeferenziazione delle stazioni base (tipicamente dell'ordine di qualche decina di metri con punte dell'ordine delle centinaia di metri), gli errori di misura dei tempi OTD e TOA dovuti alla mancata sincronizzazione delle stazioni base (tipicamente con equivalenti geometrici dell'ordine delle decine di metri), gli errori di misura della potenza ricevuta da un mobile dovuti ai guadagni d'antenna e al fading, ed, infine, gli errori di misura di tutti i parametri citati dovuti agli errori sistematici ed intrinseci delle misure stesse ed ai cammini multipli (multipath) dei segnali fisici.

In conseguenza di questi errori, i sistemi di localizzazione noti forniscono precisioni poco accurate. Soprattutto per i metodi basati sull'intersezione di luoghi geometrici le varie rilevazioni possono anche divergere del tutto così da non permettere di stimare la posizione del terminale mobile: lo spostamento dei luoghi geometrici può infatti causare la loro mancata intersezione o il moltiplicarsi del numero delle stesse.

In secondo luogo, per i metodi che si basano sul confronto tra i segnali ricevuti dal terminale ed un database di "firme geografiche" dei segnali, è necessario aggiornare costantemente la base dati con l'evolvere della rete radiomobile. Questo lavoro di aggiornamento è tutt'altro che banale ed il rischio comune è quello di confrontare i segnali ricevuti con un database obsoleto. Inoltre, per ragioni pratiche, il database è costruito servendosi di dati

calcolati mediante modelli matematici. Anche nei casi migliori, ciò comporta una differenza rispetto ai valori che misura sul campo il terminale, e questa è un'altra fonte di errore (si veda ad esempio US-A-6 167 274).

5 Infine, i metodi presentati in letteratura e comunemente conosciuti non sono in grado di combinare in maniera flessibile tutte le tipologie di misura (potenza, TA, OTD e TOA), ma al più si limitano a combinare in maniera rigida, ad esempio, le misure di OTD e quelle di potenza (si veda US-A-5
10 613 205). Di conseguenza, nei casi in cui le misure previste non siano disponibili, il sistema di localizzazione non è capace di adattarsi allo scenario di misura reale in cui si trova e risulta così non in grado di svolgere le sue funzioni.

15 DESCRIZIONE DELL'INVENZIONE

La presente invenzione si prefigge lo scopo di fornire una soluzione in grado di superare gli inconvenienti sopra delineati.

* Secondo la presente invenzione, tale scopo viene
20 raggiunto con un procedimento avente le caratteristiche richiamate in modo specifico nelle rivendicazioni che seguono.

In particolare, l'invenzione riguarda un procedimento per individuare la posizione di terminali mobili in cui, sulla
25 base di una pluralità di segnali o grandezze fisiche, vengono determinate corrispondenti funzioni di errore atte a permettere di calcolare una funzione di errore globale avente un minimo in corrispondenza della posizione del terminale mobile da localizzare.

30 L'invenzione riguarda anche il corrispondente sistema ed i relativi componenti.

Fra tali componenti è compreso anche un prodotto informatico direttamente caricabile nella memoria di un

elaboratore digitale associato (così come avviene nei telefoni mobili di corrente produzione) ad un terminale mobile per reti di telecomunicazioni. Il prodotto informatico in questione comprende porzioni di codice software suscettibili di implementare almeno una parte di detto modulo di localizzazione integrato, secondo l'invenzione, nel terminale mobile stesso quando il prodotto informatico in questione viene eseguito su detto elaboratore digitale.

DESCRIZIONE SINTETICA DELLE FIGURE

10 L'invenzione verrà ora descritta, a pieno titolo di esempio non limitativo, con riferimento ai disegni annessi, in cui:

- la figura 1 illustra, sotto forma di uno schema a blocchi funzionale, l'organizzazione di un sistema secondo 15 l'invenzione, e

- la figura 2 è un diagramma di flusso illustrativo dell'attuazione del procedimento secondo l'invenzione.

DESCRIZIONE DI UNA FORMA PREFERITA DI REALIZZAZIONE

Lo schema della figura 1 illustra una forma preferita di 20 attuazione dell'invenzione, facendo riferimento all'interazione fra un ambiente "di comunicazione" o "di rete", indicato con CA, ed un ambiente "di localizzazione": quest'ultimo può essere visto essenzialmente come un'implementazione e sviluppo di una funzione di 25 localizzazione (Mobile Location Center o MLC) di tipo noto già presente nella rete/sistema.

L'ambiente di comunicazione CA corrisponde essenzialmente ad una normale rete radiomobile operante secondo un qualsiasi standard GSM, GPRS, UMTS od equivalenti, compresi gli 30 sviluppi di nuova generazione. La soluzione secondo l'invenzione è dunque "trasparente" rispetto alle specifiche caratteristiche dell'ambiente di comunicazione CA.

La rete in questione comprende quindi n ($n > 0$) stazioni base (indicate per semplicità come BTS1, BTS2, ...) nonché uno o più terminali mobili MS1, MS2 ...

I criteri generali di funzionamento di una tale rete, quale che sia lo standard adottato (GSM, GPRS, UMTS o altri) sono del tutto noti nella tecnica e quindi tali da non richiedere una descrizione particolareggiata in questa sede.

L'ambiente di localizzazione MLC ha lo scopo di determinare la posizione terminali mobili MS1, MS2 ... in termini di coordinate di localizzazione (x , y) nell'ambito del territorio coperto dalla rete di comunicazione.

L'ambiente MLC comprende in via principale:

- un modulo di supervisione SM che sovrintende a tutte le operazioni del sistema di localizzazione;
- un modulo di tariffazione ed accesso (accounting e billing) AB, e
- un modulo gateway GW destinato a realizzare (secondo criteri meglio descritti nel seguito) un interfacciamento verso una rete IP sulla quale sono attestati utenti finali e/o fornitori di servizi indicati complessivamente con U.

Nell'ambito dell'ambiente di localizzazione MLC sono poi previste:

- una funzione di calcolo della posizione PCF, e
- una funzione di gestione della comunicazione.

La funzione di gestione della comunicazione è normalmente affidata a rispettivi moduli di cui uno, indicato con MGC, risiede a livello di rete fissa, ad esempio presso un nodo di gestione della rete. Ciascuno dei terminali mobili MS1, MS2 ... è poi provvisto - in modo di per sé noto - di un corrispondente modulo di gestione della comunicazione, non esplicitamente illustrato nei disegni.

In un'ulteriore forma di realizzazione, i terminali possono essere inoltre provvisti di dispositivi opzionali per

effettuare misure atte ad integrare quelle effettuate dalla rete. Ad esempio, i terminali possono comprendere dispositivi altimetrici, dispositivi misuratori di pressione, dispositivi atti a rilevare distanze, ecc., tali cioè da permettere di
5 individuare, con un livello di precisione determinato, almeno una coordinata geografica o una distanza da una coordinata geografica predeterminata. La disponibilità di tali dispositivi permette di fornire alla funzione PCF informazioni aggiuntive atte a migliorare la precisione della
10 localizzazione, come verrà più avanti descritto in dettaglio. I dispositivi opzionali di cui sopra possono anche essere installati nelle BTS, come un tecnico del settore può facilmente comprendere.

Nel caso in cui le misure siano invarianti nel tempo, ad
15 esempio, in una determinata area, tali misure possono essere inserite, sotto forma di opportuni valori statici o funzioni di calcolo degli stessi, nel modulo SM affinché, tramite il modulo GW, siano trasferite alla funzione PCF.

La funzione PCF di calcolo della posizione può invece
20 risiedere tanto a livello di rete (così come illustrato in linea piena nei disegni annessi), quanto a livello dei terminali mobili MS1, MS2 ... (così come indicato con linee a tratti nei disegni annessi), quanto ancora ad entrambi i livelli. La specifica scelta realizzativa adottata è quindi
25 dettata da considerazioni di progetto di sistema (capacità elaborativa disponibile nelle varie locazioni, ecc.) ed è di fatto influente ai fini della comprensione dell'invenzione.

La forma di realizzazione dell'invenzione al momento preferita prevede due possibili modalità di funzionamento,
30 ossia

- localizzazione invocata dal singolo terminale mobile interessato
- localizzazione invocata dal modulo di supervisione SM.

Nel caso in cui sia uno dei terminali mobili MS1, MS2 ad invocare la localizzazione, la determinazione della posizione dello stesso comporta lo svolgimento delle seguenti operazioni:

5 - il terminale mobile interessato MS1, MS2 ... seleziona l'insieme di dati su cui effettuare il calcolo della posizione (selezione dinamica o preimpostata); se in tale insieme sono compresi i dati TOA, il terminale mobile deve richiedere alla rete tali valori che sono forniti ad esempio
10 via SMS o protocollo ad-hoc in comunicazione dati;

- il terminale mobile misura i valori di cui all'insieme sopra definito;

- il terminale mobile richiede alla rete le posizioni geografiche delle stazioni base a cui si riferiscono le
15 misure sopra considerate, e la rete le comunica al terminale mobile, ad esempio tramite broadcast o SMS;

- la funzione PCF nel terminale mobile calcola la posizione del terminale stesso;

- solo se richiesto, la posizione appena calcolata viene
20 spedita (ad esempio tramite SMS o protocollo ad-hoc in comunicazione dati) al modulo di supervisione SM in vista di ulteriori possibili elaborazioni allo scopo di fornire servizi aggiuntivi (ad esempio tracking, guida turistica, invio di informazioni dipendenti dalla posizione geografica,
25 ecc.), tali dati essendo desunti ad esempio dai fornitori U attraverso la rete IP.

. Nel caso in cui sia il modulo di supervisione SM ad invocare la localizzazione di un determinato terminale mobile, vengono eseguite le seguenti operazioni:

30 - viene selezionato l'insieme di dati su cui effettuare il calcolo della posizione. Se in tale insieme sono comprese i dati OTD, il modulo di supervisione SM deve chiedere al

terminale mobile coinvolto tali valori che sono forniti ad esempio via SMS o protocollo ad-hoc in comunicazione dati;

- vengono misurati i valori di cui all'insieme sopra considerato;

5 - la funzione PCF a livello MLC esegue il calcolo della posizione del terminale mobile; e

10 - solo se richiesto, la posizione appena calcolata viene inviata (ad esempio tramite SMS o protocollo ad-hoc in comunicazione dati) al terminale mobile di solito unitamente alle altre informazioni (guida turistica, invio di informazioni dipendenti dalla posizione geografica, mappa stradale della zona, ecc.) già viste in precedenza.

15 Si rammenta ancora una volta il fatto che la soluzione secondo l'invenzione è applicabile a qualunque rete radiomobile (GSM, GPRS, UMTS o altre) aderente alle relative specifiche internazionali e comprendente un certo numero di stazioni radio base, connesse tra di loro mediante una core-network, ed un certo numero di terminali radiomobili di cui si vuole stimare la posizione geografica (ad esempio
20 latitudine e longitudine).

Il nucleo del sistema di localizzazione qui illustrato è costituito dalla funzione PCF, destinata a calcolare la posizione del terminale mobile.

25 A tale scopo, la funzione PCF, indipendentemente da dove ubicata, riceve in ingresso i dati necessari al calcolo della posizione (livelli di potenza ricevuta dal terminale, TA, OTD, TOA o una combinazione, anche incompleta, degli stessi) e fornisce in uscita la posizione, incognita, del mobile. Poiché alcuni dati fra quelli appena citati possono essere
30 misurati o solo dalla rete (TOA) o solo dal terminale mobile (OTD), si utilizzano protocolli di comunicazione (implementati dalla funzione di gestione della comunicazione

MGC) che trasferiscono gli stessi dal terminale mobile alla rete e viceversa.

In particolare, se la funzione PCF risiede sul terminale mobile ed è necessario utilizzare i dati di TOA perché gli altri non sono disponibili, il modulo di supervisione SM (l'unico a conoscere i dati di TOA) rende disponibili tali dati al terminale mobile.

In maniera del tutto analoga, se la funzione PCF risiede sulla rete, è il terminale mobile coinvolto nell'azione di localizzazione ad inviare, nel caso in cui questo sia necessario, i dati che la rete non può misurare (es. OTD).

Tutto questo mentre il gateway GW (realizzato di preferenza secondo lo standard ETSI TS 101.724 V.7.3.0 (2000-02) - "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Location Services (LCS); (Functional description) - Stage 2; (GSM 03.71 version 7.3.0 Release 1998)" gestisce la sicurezza informatica e l'instradamento delle informazioni fra rete IP ed il sistema di localizzazione.

Indipendentemente da dove sia fisicamente localizzata, la funzione PCF per il calcolo della posizione opera realizzando la minimizzazione di una combinazione di funzioni di errore definite nel modo descritto nel seguito, dove (x,y) sono le coordinate (incognite) del terminale, n è il numero di stazioni base disponibili e $dist$ calcola la distanza assoluta tra due punti:

- per le misure di TA:

$$f_j(x,y) = dist(MS, BTS_j) - TA_j \quad j = 1, \dots, n$$

- per le misure di OTD:

$$f_k(x,y) = dist(MS, BTS_i) - dist(MS, BTS_j) - OTD_{ij} \quad i, j = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, n!/2$$

Si apprezzerà che quanto detto sopra vale anche, rispettivamente:

- per le misure di potenza, in quanto, in modo analogo a quanto definito per le misure di TA, si tratta di circonferenze centrate sulla stazione base di riferimento

- per le misure di TOA in quanto si tratta semplicemente di misure analoghe alle misure di OTD, effettuate però dalla rete anziché dal terminale

- per le altre misure, ad esempio misure di altezza sul livello del mare, ottenute mediante dispositivi opzionali; in tale caso si tratta di curve che dipendono dal tipo di grandezza fisica misurata e che, ad esempio, nel caso di altezze sul livello del mare, può essere rappresentata come una funzione quadratica proporzionale alla differenza di altezza tra quanto indicato dal dispositivo, ad esempio un altimetro, e la quota effettiva del terminale mobile, nella forma:

$$f_h(x,y,z) = (z - z_{\text{altimetro}})^2$$

in cui $z_{\text{altimetro}}$ è la quota indicata dall'altimetro.

Per altri tipi di misure, possono essere utilizzate, come un tecnico del settore può facilmente comprendere, funzioni di distanza corrispondenti alle misure effettuate.

Si apprezzerà che le eventuali misure opzionali sopra citate garantiscono al procedimento di effettuare la localizzazione migliorandone sia i tempi di calcolo che la precisione.

Si consideri, ad esempio, la misura aggiuntiva dell'altezza sul livello del mare del terminale MS. In tale caso il procedimento di localizzazione risulta essere molto efficiente perché la misura di altezza limita il campo di esistenza della soluzione stessa ad una determinata curva iso-altimetrica o ad un insieme di valori prossimi alla misura individuata.

Il procedimento di localizzazione ne può trarre quindi forti vantaggi in termini di velocità di convergenza della funzione

PCF di ricerca del valore minimo, in quanto almeno rispetto ai tempi prevedibili nel caso fossero incognite tutte le coordinate.

Infatti, alla funzione f_h , come esemplificato, può essere
 5 dato un peso elevato nella funzione globale di errore (per il fatto che f_h si basa, ad esempio, su $Z_{altimetro}$ che è una misura molto precisa) consentendo così al processo iterativo di portarsi in pochi passi alla quota esatta e, altrettanto velocemente, di convergere con le altre due coordinate, ad
 10 esempio x e y , che, come un tecnico del settore può facilmente comprendere, sono costrette a muoversi nell'intorno di un'ascissa curvilinea.

Inoltre, la conoscenza dell'altezza del terminale MS consente anche di migliorare la precisione di localizzazione in quanto
 15 tale conoscenza rappresenta un'informazione più precisa rispetto alle altre misure disponibili (OTD, TA,...) e tale da vincolare la soluzione in un intorno del punto esatto.

Si apprezzerà ancora che tanto per i termini TA_j quanto per i termini OTD_{ij} (o equivalenti per le misure di potenza e
 20 TOA) valgono in generale espressioni del tipo

$$TA_j = ta_j \cdot c \pm \epsilon_{ta_j} \text{ e}$$

$$OTD_{ij} = otd_{ij} \cdot c \pm \epsilon_{otd_{ij}}$$

dove c indica la velocità della luce nel vuoto e il termine in caratteri minuscoli esprime il valore "esatto"
 25 della misura ed il termine ϵ esprime la componente di errore.

Tutte le misure effettuate e disponibili sono inviate alla funzione PCF dove vengono combinate in una funzione (o, meglio, funzionale) globale di errore $\Phi(f_i)$ di cui si cerca il minimo al variare delle coordinate x, y del terminale
 30 mobile.

In particolare, considerando m funzioni disponibili corrispondenti a m misure complessive di potenza e/o OTD e/o

TA e/o TOA - la funzione PCF opera ricercando il valore minimo di Φ

$$\min_{x,y} \Phi(f_i) \quad i=1,\dots,m$$

dove $\Phi(f_i)$ può essere, ad esempio, $\Phi = \sum f_i^2$ oppure

5 $\Phi = \text{var}(f_i, 0)$ con $i = 1, \dots, m$ o altre funzioni ancora che minimizzano il contributo complessivo di errore e dove m dipende dal numero di misure di base disponibili.

La Φ risulta quindi essere una funzione continua nel piano x, y che ha un minimo locale nel punto in cui il
10 contributo complessivo di errore di tutte le funzioni f_i con $i = 1, \dots, m$ è minimo.

Il minimo può valere 0 (zero) solo se gli errori di misura delle grandezze fisiche quali potenza, TA, OTD, TOA ecc. sono nulli.

15 In genere, tale situazione è impossibile nei casi reali.

Le coordinate x, y in cui la funzione globale di errore Φ è minima, corrispondono, secondo la presente invenzione alle coordinate di posizione del terminale mobile con massima probabilità.

20 Come esempio di applicazione del criterio sopra descritto si consideri il caso in cui il terminale mobile coinvolto nell'azione di localizzazione misura il TA rispetto alla stazione radio base servente e misura inoltre l'OTD rispetto ad un'altra stazione radio base. In questo caso le funzioni
25 di errore disponibili sono due:

$$f_1(x,y) = \sqrt{(x-X_1)^2 + (y-Y_1)^2} - TA_1$$

$$f_2(x,y) = \sqrt{(x-X_2)^2 + (y-Y_2)^2} - \sqrt{(x-X_1)^2 + (y-Y_1)^2} - OTD_{12}$$

dove (x,y) sono le coordinate incognite del terminale mobile e (X_1, Y_1) e (X_2, Y_2) sono, rispettivamente, le coordinate
30 della prima e della seconda stazione base.

La posizione del terminale mobile può quindi essere calcolata dalla funzione PCF

$(x,y)=\min_{x,y}\{var(f_1(x,y),f_2(x,y),0)\}$ dove si indica con "var" la varianza.

- 5 * La posizione così trovata non risente degli errori di georeferenziazione delle stazioni base (errori sempre presenti nelle reti radiomobili reali), degli errori di sincronizzazione delle stazioni base stesse e degli errori di misura delle varie grandezze di riferimento (potenze, TA, OTD
10 e TOA).

La soluzione descritta effettua, infatti, un'operazione di minimizzazione degli stessi e, naturalmente, se gli errori appena citati fossero nulli, ogni funzione f_i avrebbe uno zero nella posizione occupata dal terminale mobile.

- 15 In presenza dei suddetti errori, la funzione raggiunge in ogni caso un minimo (e non uno zero) nel punto in cui è più verosimile che si trovi il mobile perché il contributo complessivo di errore è minimo.

- In altre parole, la soluzione secondo l'invenzione non si
20 limita a cercare l'intersezione di regioni geometriche (iperbole, circonferenze, ecc.), che in presenza degli errori sopra potrebbe non esistere, ma ricava il punto in cui è più verosimile che si trovi il terminale mobile compensando così i vari errori.

- 25 Il calcolo del minimo può avvenire con vari metodi, ad esempio con quello di Newton che è ben noto in matematica e ben collaudato. Tutti i metodi hanno in comune il fatto che la ricerca del minimo converge sempre ad una soluzione e che tale soluzione è il frutto di un processo iterativo che parte
30 da un punto (x_0, y_0) e che, muovendosi nel piano x,y su una successione di punti $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ converge al punto in cui la funzione ha un minimo relativo. Il processo iterativo si ferma in un punto (x_n, y_n) quando la distanza

assoluta tra il punto stesso ed il precedente (x_{n-1}, y_{n-1}) è minore di una certa soglia, ad esempio 10 m.

La soluzione descritta è estremamente flessibile perché è applicabile quando è disponibile anche solo una stazione
5 radio base.

Si apprezzerà infatti che anche la determinazione - precisa - della collocazione di un terminale mobile su una circonferenza centrata intorno ad una stazione base costituisce una localizzazione, sia di per sé (in quanto sia
10 sufficiente sapere quale distanza separi il terminale mobile dalla stazione base), sia in quanto abbinabile ad altri meccanismi od informazioni suscettibili di identificare la collocazione del terminale mobile su una determinata porzione della circonferenza.

15 La soluzione descritta è applicabile a qualunque tipo di misura e su qualunque combinazione delle misure disponibili adattandosi di volta in volta alla situazione contingente dello scenario di misura;

In particolare, la soluzione descritta è applicabile in
20 un sistema di riferimento tridimensionale, ad esempio utilizzando misure atte a determinare l'altezza sul livello del mare del terminale MS.

Infatti, nel caso di sistema di riferimento tridimensionale, è sufficiente esprimere la funzione PCF di ricerca di un
25 valore minimo, in coordinate x, y, z anziché in coordinate x, y senza nulla modificare del procedimento descritto.

In tale caso il processo iterativo partirà da un punto x_0, y_0, z_0 per convergere ad una soluzione x_n, y_n, z_n quando la distanza la distanza assoluta tra il punto stesso ed il
30 precedente $x_{n-1}, y_{n-1}, z_{n-1}$ è minore di una soglia determinata, ad esempio 10 m.

Riferendosi al diagramma di flusso della figura 2, dal punto di vista del sistema di localizzazione nell'esempio

appena riportato si realizzano, a partire da una fase o passo iniziale, indicata con 100, le seguenti azioni:

- il terminale mobile (o il modulo di supervisione SM, eventualmente su comando di un utente finale o un fornitore di servizi U, attraverso la rete IP) invoca la localizzazione (passo 102);

- il modulo di supervisione SM verifica tramite il modulo AB che l'utente che ha chiesto la localizzazione sia abilitato al servizio e richiede al terminale mobile le misure sulle quali eseguire la localizzazione (passo 104);

- supponendo che, in base alla scelta operata dal modulo SM, debba essere la o una funzione PCF residente a livello di rete a calcolare la posizione del terminale mobile (e non la o una funzione analoga residente sul terminale mobile), il terminale mobile raccoglie le misure di base disponibili (in questo esempio una misura di OTD ed una di TA) e, verificato che siano sufficienti (esito positivo di un passo 106) le invia al modulo SM (passo 108);

- se il numero di misure di base realizzate dal terminale non è sufficiente (esito negativo del passo 106) il modulo SM procede ad eseguire ulteriori misure (ad esempio di TOA), così come indicato nel passo 110,

- il modulo SM invoca il calcolo della posizione del mobile alla funzione PCF (passo 112), e

- il modulo SM elabora la posizione del terminale mobile aggiungendo informazioni a valore aggiunto (ad esempio a carattere pubblicitario) ed invia il risultato al terminale (passo 114, seguito da un passo conclusivo indicato con 116).

Così come già detto, la richiesta di localizzazione può essere scatenata sia dal terminale mobile che dal modulo SM, il quale a sua volta può farlo direttamente in base ad una tabella di scheduling oppure su richiesta di un utente

esterno o di un fornitore di servizi collegato tramite rete IP).

Nel primo caso, il terminale mobile provvede direttamente ad eseguire le misure di potenza ricevuta dalle stazioni base, le relative OTD, il valore di TA relativo alla stazione base servente chiedendo, eventualmente, alla rete le misure di TOA (che il terminale mobile non può eseguire autonomamente) oltre che le coordinate geografiche delle stazioni tramite, ad esempio, mediante messaggi broadcast secondo il protocollo RRLP (Radio Resource Link Protocol).

La funzione PCF a bordo del terminale mobile provvede a stimare la posizione in base alle informazioni ricevute seguendo la metodologia descritta. L'informazione è visualizzata sul terminale mobile o inviata al modulo SM per ulteriori elaborazioni al fine di fornire al cliente servizi a valore aggiunto basati sulla posizione geografica del mobile (es. yellow page, tracking, ecc.).

Nel caso in cui sia invece il modulo SM a invocare la localizzazione del terminale mobile, la funzione PCF sulla rete provvede a raccogliere i dati necessari richiedendo, eventualmente, al terminale mobile la misura delle OTD (ad esempio tramite il protocollo RRLP) e calcola poi la posizione del mobile. La funzione PCF restituisce poi al terminale mobile, ad esempio tramite SMS la sua posizione e/o altre informazioni a valore aggiunto che dipendono dalla posizione calcolata.

Da quanto visto in precedenza è evidente che il sistema di localizzazione secondo l'invenzione può operare anche in presenza della combinazione di più errori nei sistemi di riferimento spaziali e temporali quali, ad esempio, gli errori di georeferenziazione delle stazioni radio base, gli errori di sincronizzazione delle stazioni radio base stesse e gli errori di misura dei dati utili alla localizzazione.

Il sistema secondo l'invenzione può combinare in maniera del tutto flessibile un numero variabile di misure di potenza misurate dal terminale mobile, di TA, di OTD e di TOA con l'unica limitazione che è indispensabile almeno una misura.

5 Il sistema secondo l'invenzione supera dunque le limitazioni dei metodi di posizionamento tradizionali basati sul confronto tra i segnali ricevuti e quelli che dovrebbero essere ricevuti su mappe predisposte a priori (che inoltre per questioni pratiche devono essere tracciate con l'uso di
10 modelli matematici suscettibili di introdurre una differenza rispetto alla situazione reale) e che ne comportano l'aggiornamento continuo con l'evolvere della rete radiomobile.

Infine, il sistema secondo l'invenzione non si basa sulla
15 ricerca dell'intersezione di curve geometriche, intersezione che potrebbe non esistere a causa degli errori di riferimento spaziali e temporali.

Naturalmente, fermo restando il principio dell'invenzione, i particolari di realizzazione e le forme di
20 attuazione potranno variare rispetto a quanto qui descritto ed illustrato, a puro titolo di esempio, senza uscire dall'ambito dell'invenzione.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento per localizzare un terminale mobile (MS, MS2, ...) nell'ambito di una rete di comunicazione mobile comprendente almeno una stazione base (BTS1, BTS2, ..., BTSn), il procedimento comprendendo la rilevazione di un insieme di grandezze fisiche che identificano, secondo rispettive funzioni, le coordinate di localizzazione (x, y, z) di detto terminale mobile, caratterizzato dal fatto che comprende le operazioni di:

10 - generare, a partire da detto insieme di grandezze fisiche e rispettive funzioni, una funzione globale di errore di localizzazione (ϕ) che ammette un minimo per valori di dette coordinate di localizzazione (x, y, z) corrispondenti alla posizione occupata da detto terminale mobile,

15 - ricercare il minimo di detta funzione di errore (ϕ) facendo variare almeno una di dette coordinate di localizzazione (x, y, z), e

- localizzare detto terminale mobile in corrispondenza del valore di detta almeno una coordinata di localizzazione
20 corrispondente a detto minimo.

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto insieme di grandezze fisiche comprende almeno una grandezza scelta nel gruppo costituito da:

25 - potenza di segnale ricevuta da detto terminale mobile a partire da detta almeno una stazione base,

- Timing Advance (TA),

- Observed Time Differences (OTD), e

- Time of Arrival (TOA).

30 3. Procedimento secondo la rivendicazione 1 o 2 caratterizzato dal fatto che l'operazione di rilevazione comprende l'operazione di

- rilevare misure atte a individuare almeno un valore di posizione o distanza con precisione determinata.

4. Procedimento secondo la rivendicazione 1, 2 o 3, caratterizzato dal fatto che detta funzione globale di errore è definita come la varianza delle grandezze comprese in detto insieme ed una grandezza di valore zero.

5. Procedimento secondo la rivendicazione 1, 2 o 3, caratterizzato dal fatto che detta funzione globale di errore è definita come errore quadratico medio delle grandezze di detto insieme.

6. Procedimento secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, caratterizzato dal fatto che detta funzione globale di errore (ϕ) è ricavata a partire da una pluralità di grandezze di detto insieme.

7. Procedimento secondo la rivendicazione 1, 2 o 3, caratterizzato dal fatto che detto insieme comprende una sola grandezza, per cui detta funzione globale di errore (ϕ) è generata a partire dalla sola grandezza di detto insieme.

8. Procedimento secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, caratterizzato dal fatto che comprende, per ricercare detto minimo, lo svolgimento di un processo iterativo di valutazione di detta funzione globale di errore per valori diversi di detta almeno una coordinata di localizzazione ($x_0, y_0, z_0; \dots; x_n, y_n, z_n$) corrispondente ai successivi punti diversi dello spazio coperto da detta rete di comunicazione.

9. Procedimento secondo la rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che comprende l'operazione di interrompere detto processo iterativo quando la distanza assoluta fra due punti successivi è al di sotto di un valore di soglia determinato.

10. Procedimento secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, caratterizzato dal fatto di essere applicabile in un sistema di riferimento tridimensionale.

11. Sistema per localizzare un terminale mobile (MS1, MS2, ...) nell'ambito di una rete di comunicazione mobile comprendente almeno una stazione base (BTS1, BTS2, ... BTSn) e almeno un modulo di localizzazione (PCF) configurato per rilevare un insieme di grandezze fisiche che identificano secondo rispettive funzioni le coordinate di localizzazione (x, y, z) di detto terminale mobile, caratterizzato dal fatto che detto modulo di localizzazione (PCF) è configurato per:

- generare, a partire da detto insieme di grandezze fisiche e rispettive funzioni, una funzione globale di errore di localizzazione (ϕ) che ammette un minimo per valori di dette coordinate di localizzazione corrispondenti alla posizione occupata da detto terminale mobile,

- ricercare il minimo di detta funzione di errore (ϕ) al variare di almeno una di dette coordinate di localizzazione (x, y, z), e

- localizzare detto terminale mobile in corrispondenza del valore di detta almeno una coordinata di localizzazione (x, y, z) corrispondente a detto minimo.

12. Sistema secondo la rivendicazione 11, caratterizzato dal fatto che detto insieme di grandezze fisiche comprende almeno una grandezza scelta nel gruppo costituito da:

- potenza di segnale ricevuta da detto terminale mobile a partire da detta almeno una stazione base,

- Timing Advance (TA),

- Observed Time Differences (OTD), e

- Time of Arrival (TOA).

13. Sistema secondo la rivendicazione 11 o la rivendicazione 12, caratterizzato da dispositivi di misura atti a rilevare misure atte a individuare almeno un valore di

posizione di detto terminale mobile o distanza con precisione determinata.

14. Sistema secondo la rivendicazione 11, 12 o 13, caratterizzato dal fatto che detta funzione globale di errore
5 è definita come la varianza delle grandezze comprese in detto insieme ed una grandezza di valore zero.

15. Sistema secondo la rivendicazione 11, 12 o 13, caratterizzato dal fatto che detta funzione globale di errore
10 è definita come errore quadratico medio delle grandezze di detto insieme.

16. Sistema secondo la rivendicazione 11, 12 o 13, caratterizzato dal fatto che detto modulo di localizzazione
(PCF) è configurato per ricavare detta funzione globale di errore (ϕ) a partire da una pluralità di grandezze di detto
15 insieme.

17. Sistema secondo la rivendicazione 11, 12 o 13, caratterizzato dal fatto che detto modulo di localizzazione
(PCF) configurato per ricavare detta funzione globale di errore (ϕ) a partire da detto insieme comprende una sola
20 grandezza, per cui detta funzione globale di errore (ϕ) è generata a partire dalla sola grandezza di detto insieme.

18. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 11 a 17, caratterizzato dal fatto che per ricercare detto
minimo, detto modulo di localizzazione (PCF) è configurato
25 per lo svolgimento di un processo iterativo di valutazione di detta funzione globale di errore per valori diversi di detta
almeno una coordinata di localizzazione ($x_0, y_0, z_0; \dots; x_n, y_n, z_n$) corrispondente ai successivi punti diversi dello
spazio coperto da detta rete di comunicazione.

30 19. Sistema secondo la rivendicazione 18, caratterizzato dal fatto che detto modulo di localizzazione (PCF) è configurato per interrompere detto processo iterativo quando

la distanza assoluta fra due punti successivi è al di sotto di un valore di soglia determinato.

20. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 11 a 19 caratterizzato che detta funzione di errore (ϕ) è
5 atta ad operare in un sistema di riferimento tridimensionale.

21. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 11 a 20, caratterizzato dal fatto che comprende inoltre un modulo (MGC) per consentire lo scambio di dati identificativi di almeno una grandezza di detto insieme fra detto terminale
10 mobile e detta almeno una stazione base.

22. Terminale mobile configurato per l'impiego in un sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 11 a 21, caratterizzato dal fatto che il terminale comprende almeno parte di detto modulo di localizzazione (PCF)
15 integrato nel terminale mobile stesso.

23. Prodotto informatico direttamente caricabile nella memoria di un elaboratore digitale associato ad un terminale mobile (MS1, MS2, ...) secondo la rivendicazione 18 e comprendente porzioni di codice software suscettibili di
20 implementare detta almeno parte di detto modulo di localizzazione (PCF) integrato nel terminale mobile stesso quando detto prodotto informatico viene eseguito su detto elaboratore digitale.

24. Rete di comunicazione comprendente almeno una
25 stazione base (BTS1, BTS2, ... BTSn) ed una pluralità di terminali mobili (MS1, MS2, ...), la rete comprendendo un sistema di localizzazione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 11 a 21.

25. Rete di comunicazione mobile secondo la
30 rivendicazione 24, caratterizzata dal fatto che comprende un modulo di interfaccia (GW) per l'interfacciamento ad una rete IP, detto modulo di interfaccia essendo configurato in modo da consentire il trasferimento di almeno uno fra:

- un ordine di procedere alla localizzazione di uno di detti terminali mobili a partire da una sorgente (U) esterna a detta rete, e

5 - l'erogazione, verso detti terminali mobili (MS1, MS2, ...) di informazioni generate da una sorgente esterna rispetto alla rete (U) e riferita alla localizzazione di almeno uno di detti terminali mobili.

RIASSUNTO

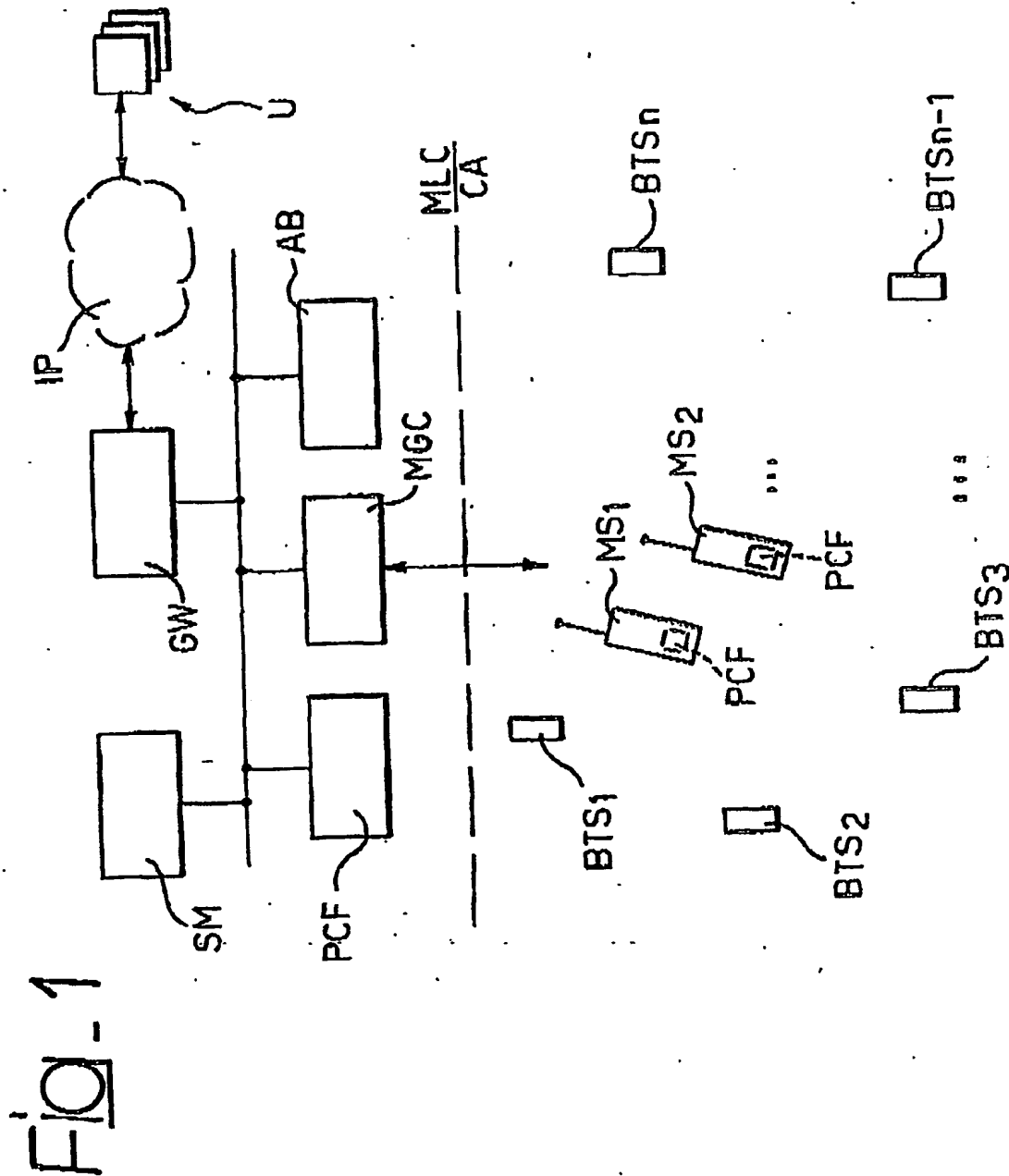
Per localizzare un terminale mobile (MS1, MS2, ...) nell'ambito di una rete di comunicazione mobile comprendente almeno una stazione radio base (BTS1, BTS2, ..., BTSn), si procede a

5 rilevare un insieme di grandezze fisiche che identificano, secondo rispettive funzioni, le coordinate di localizzazione (x, y, z) del terminale mobile. Il procedimento comprende le operazioni di:

- generare, a partire dal suddetto insieme di grandezze fisiche
10 e rispettive funzioni, una funzione globale di errore di localizzazione (ϕ) che ammette un minimo per valori delle coordinate di localizzazione corrispondenti alla posizione occupata dal terminale mobile,

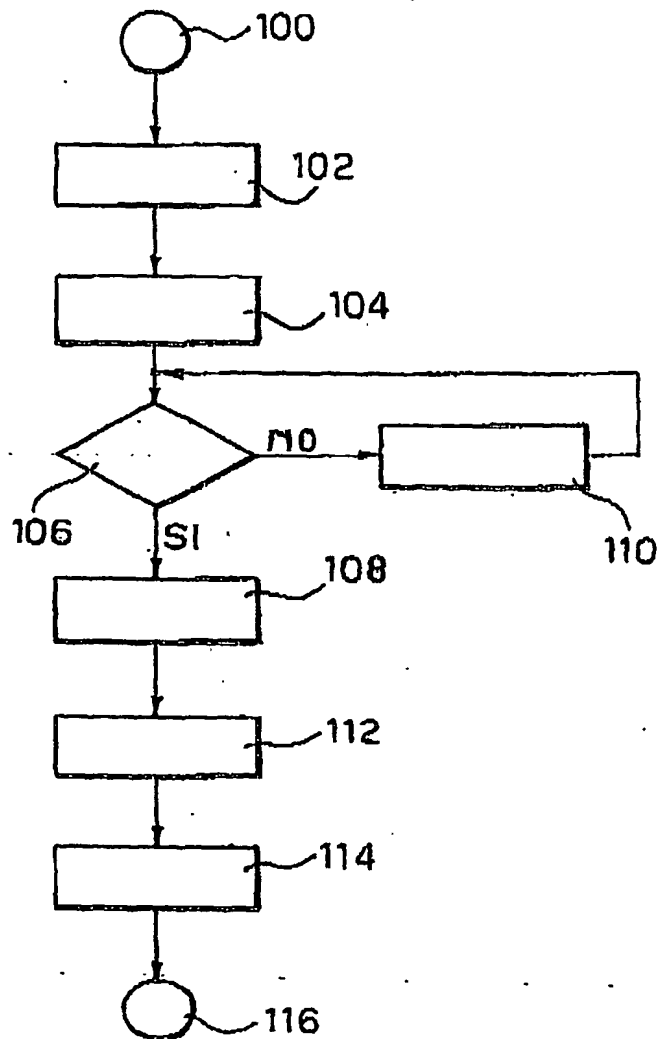
- ricercare il minimo della suddetta funzione di errore (ϕ)
15 facendo variare almeno una di dette coordinate di localizzazione (x, y, z), e

- localizzare il terminale mobile in corrispondenza del valore delle coordinate di localizzazione corrispondente al minimo della suddetta funzione globale di errore di localizzazione (ϕ).



2/2

Fig. 2



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.